

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ УВЛАЖНЕНИЯ

Ю.Л. Цапко, В.В. Зубковская, А.И. Огородняя

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор относится к элементам, которые хорошо поглощаются и удерживаются почвой. Процессы аккумуляции-мобилизации фосфатов тесно связаны с воздействием различных факторов, прежде всего, кислотно-основного режима почвы, содержания и качества органического вещества, гранулометрического состава, наличия подвижных форм поливалентных металлов, количества влаги и температуры почвы, а также доз и способов внесения удобрений и мелиорантов [1].

В Украине большинству разновидностей почв с повышенной кислотностью присущ определенный уровень гидроморфизма. Этот процесс проявляется, как известно, в виде поверхностного или внутрипочвенного переувлажнения (глееватые и глеевые почвы). К настоящему времени о влиянии уровня кислотности почвы (поддающегося точному измерению) на поведение фосфатных ионов в почвенной среде имеется много работ [2–5]. Глееобразование рассматривают как биогеохимический процесс, в котором основным фактором воздействия на минеральный субстрат есть органические соединения кислой природы, образующиеся при ферментации в анаэробных условиях, одно-, двух- и трехосновных высокомолекулярных органических кислот, фульвокислот, аминокислот, фенолов и полифенолов [6, 7].

Ход почвообразовательного процесса в условиях развития гидроморфизма во многом определяется характером и интенсивностью окислительно-восстановительных процессов. Окислительно-восстановительные процессы в почвах влияют на различные режимы и явления в почве, а именно динамику химических элементов, образование и разрушение структурных агрегатов почвы, трансформацию минералогического состава, формирование новообразований (конкреций, псевдофибр т. д), образование специфических горизонтов, разложение и накопление органического вещества, продуктивность естественных ценозов [8].

В научной литературе преобладающее количество работ посвящено проблеме формирования фосфатного режима в кислых почвах автоморфного ряда, вместе с этим, влияние процессов переувлажнения на фосфатный режим почв является недостаточно изученным.

Цель работы – изучение влияния окислительно-восстановительных условий на динамику фосфора в почвах различного генезиса в зависимости от уровня увлажнения.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований отобрано почвенные образцы с пахотного горизонта почв разного генезиса и лессовая почвообразующая порода на территории Волынской и Львовской областей в границах Западной провинции зоны Полесья.

Имитацию течения глеевых процессов осуществляли путем проведения лабораторного модельного опыта. Для этого были использованы колонки диаметром 8,5 см и высотой 27,5 см, которые заполняли воздушно-сухой почвой в количестве 0,5 кг на одну колонку. Для активизации микробиологической деятельности и глеевого процесса в почвенную массу добавляли глюкозу.

Схема опыта следующая:

1. Оптимальное увлажнение (контроль, без фосфорной добавки);
2. Оптимальное увлажнение (добавка фосфора 5 мг/100 г почвы);
3. Переувлажнение (контроль, без фосфорной добавки);
4. Переувлажнение (добавка фосфора 5 мг/100 г почвы).

Фосфор вносили в виде хорошо растворимой соли дигидрофосфата калия ($\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$). Почвенная масса компостировалась в течение девяти месяцев при t_{const} 28 С. В полученных, после компостирования, образцах почвы определяли подвижные формы фосфатов и железа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процессы восстановления и окисления в почве находятся в постоянном динамическом равновесии в зависимости от изменения факторов почвообразования – при усилении одного ослабляется другой. Эти процессы являются антагонистически направленными друг против друга. В почвах поверхностного гидроморфизма контрастность и уровень окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) слишком выражены, что существенно влияет на формирование и функционирование фосфатного режима.

Следует отметить, что весомым критерием степени развития глеевых процессов является именно окислительно-восстановительный потенциал, который зависит от условий аэрации и химических свойств почвы. Моделирование глеевого процесса позволило установить характер развития восстановительных процессов в условиях переувлажнения светло-серой лесной поверхностно оглеенной, дерново-подзолистой легкосуглинистой, дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почв и лессовой почвообразовательной породы (рис.).

Установлено снижение показателя ОВП, что указывает на усиление восстановительных процессов под влиянием переувлажнения (100 % от ПВ) на всех исследованных вариантах опыта. При оптимальном увлажнении (65 % от ПВ) наблюдаются высокие значения ОВП, что свидетельствует о преобладании окислительных процессов в почве. Так, например, окислительно-восстановительный потенциал на варианте без внесения удобрений в условиях переувлажнения светло-серой лесной поверхностно оглеенной почвы составляет 142 мВ, тогда как на таком же варианте с оптимальным увлажнением, значение ОВП повысилось до уровня 594 мВ. Аналогичная закономерность имеет место и на других исследованных почвенных разновидностях, в частности: от 171 до 512 мВ на переувлажненной и

оптимально увлажненной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (залежь); от 168 до 520 мВ в пахотном слое дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почвы; от 126 до 378 мВ в лессовой почвообразующей породе.

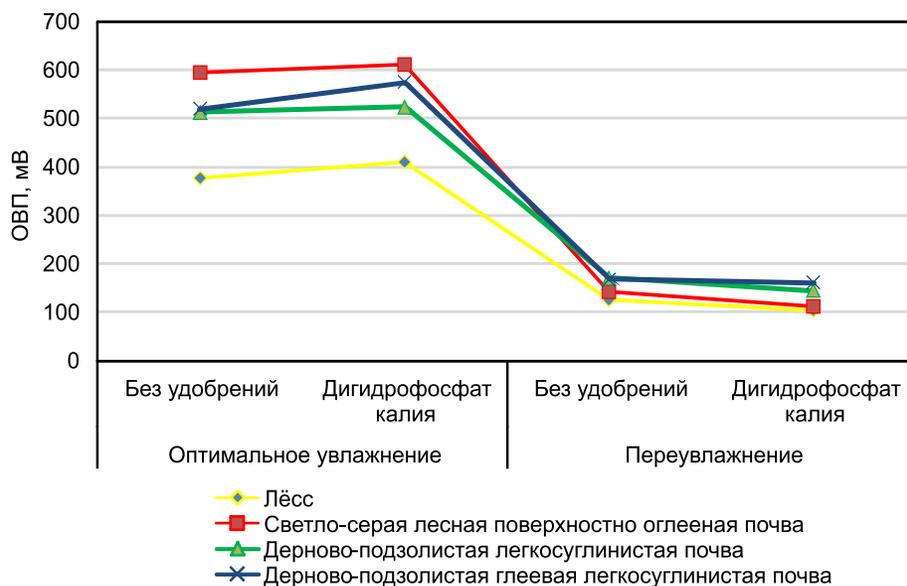


Рис. Влияние увлажнения на окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)

Вместе с этим, внесение фосфора в виде дигидрофосфата калия (K_2HPO_4), а также изменение кислотно-основного равновесия почвы не повлияли на показатель окислительно-восстановительного потенциала. Однако в условиях переувлажнения отмечается резкое снижение показателя ОВП, в варианте с оптимальным увлажнением светло-серой лесной поверхностно оглеенной почвы он составил 612 мВ, а в варианте с переувлажнением – 112 мВ. Таким образом, в процессе исследования установлена значительная разница показателей окислительно-восстановительного потенциала при различных условиях увлажнения.

Одновременно с изучением показателя окислительно-восстановительных процессов мы проводили наблюдение за поведением закисных соединений железа, которые также характеризуют окислительно-восстановительное состояние почв. В работах Ф.Г. Зайдельмана [9] было предложено использовать именно количественную величину доли закисного железа в суммарном содержании железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$).

В результате изучения влияния увлажнения на количество подвижных (закисных) форм железа нами установлено, что в условиях переувлажнения почвы происходит перегруппировка пула железа в пользу его закисных форм (табл. 1).

Исследования показали, что в условиях переувлажнения (100 % от ПВ) наблюдается увеличение суммарного содержания свободных (не силикатных) форм железистых соединений во всех исследованных почвах. Синхронно с повышением свободных форм, при переувлажнении, установлено и значительное увеличение реакционно-активных закисных форм железа – Fe^{2+} , количество которых в кон-

трольном варианте светло-серой лесной поверхностно оглеенной почвы в аэробных условиях находится на уровне всего лишь 0,8 мг/100 г почвы, а в анаэробных – 84 мг/100 г почвы. Аналогичная закономерность прослеживается и на других исследованных почвенных разновидностях соответственно: 3,0 и 97,0 мг/100 г в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве; 2,6 и 33,0 мг/100 г в дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почве и 2,8 и 68,0 мг/100 г в лессовой почвообразующей породе.

Таблица 1

Влияние степени увлажнения на изменения содержания закисных форм железистых соединений в почвах различного генезиса, мг/100г

Вариант	Оптимальное увлажнение (65 % ПВ)		Переувлажнение (100 % ПВ)	
	FeO + Fe ₂ O ₃	FeO	FeO + Fe ₂ O ₃	FeO
<i>Лёсс</i>				
1. Контроль (без удобрений)	20,8	4,4	87,0	69,0
2. KН ₂ PO ₄	15,6	2,8	73,0	68,0
<i>Светло-серая лесная поверхностно оглеенная почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	25	0,8	90,0	84,0
2. KН ₂ PO ₄	7	0,4	76,0	56,0
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	16,8	3,0	117,0	97,0
2. KН ₂ PO ₄	6,8	1,4	99,0	87,0
<i>Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая почва</i>				
1. Контроль (без удобрений)	13,6	2,6	33,0	32,0
2. KН ₂ PO ₄	6,8	1,6	25,0	20,0

Следует отметить, что в варианте с внесением фосфора в виде дигидрофосфата калия (KН₂PO₄), наблюдается аналогичная закономерность перераспределения железа. Так, количество закисного железа в вариантах с внесением фосфора в светло-серой лесной поверхностно оглеенной почве в условиях переувлажнения составляет 56 мг/100г, а в условиях оптимального увлажнения содержание Fe²⁺ снизилось до мизерного значения – всего лишь 0,4 мг/100 г почвы.

Итак, результатами нашего исследования подтверждено, что в условиях переувлажнения происходит резкое увеличение подвижных (закисных) форм железа во всех вариантах опыта. Таким образом, можно утверждать, что увеличение закисных форм железа является важным диагностическим признаком интенсивности развития восстановительных процессов в почвенной среде.

Ранее доказано, что в условиях переувлажнения почвы наблюдается увеличение подвижности фосфора за счет фиксации закисными формами железа и усиление их миграционной способности в виде органо-минеральных соединений [10]. Изменение поведения фосфора подтверждено и результатами наших исследований. Привлекают внимание результаты изменения подвижных форм фосфора под влиянием переувлажнения почв, прежде всего, в вариантах без удобрений и с внесением дигидрофосфата калия. В лессовой почвообразующей породе и на

всех исследуемых нами почвах без внесения удобрений, зафиксирована более высокая мобилизация фосфатных ионов, чем в вариантах с внесением дигидрофосфата калия (табл. 2).

Таблица 2

**Изменение содержания подвижных форм фосфора
при различных условиях увлажнения, мг/кг**

Вариант	Почва			
	Лёсс	светло-серая лесная поверхностно оглеенная	дерново- подзолистая легкосуглинистая	дерново- подзолистая глеевая легкосуглинистая
<i>Оптимальное увлажнение</i>				
1. Контроль (без удобрений)	14,6	13,2	36,3	32,9
2. (K ₂ HPO ₄)	25,4	31,5	49,7	47,5
<i>Переувлажнение</i>				
1. Контроль (без удобрений)	24,5	20,3	42,6	38,1
2. (K ₂ HPO ₄)	13,1	18,6	39,5	32,8

Так, в варианте с оптимальным уровнем увлажнения в светло-серой лесной поверхностно оглеенной почве содержание подвижных форм фосфатов составляет 13,2 мг/кг, а при переувлажнении их количество увеличивается до 20,3 мг/кг. Данная закономерность имеет место и на других исследованных почвенных разновидностях соответственно: 36,3 и 42,6 мг/кг в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве; 32,9 и 38,1 мг/кг в дерново-подзолистой глеевой легкосуглинистой почве; 14,6 и 24,5 мг/кг в лессовой почвообразующей породе.

Установлено различное содержание подвижных форм фосфатных ионов при внесении дигидрофосфата калия (K₂HPO₄). Так, в светло-серой лесной поверхностно оглеенной почве в условиях переувлажнения на варианте контроля (без применения фосфорных удобрений) содержание подвижных форм фосфатов составляет 20,3 мг/кг почвы, а при внесении фосфора снижается до 18,6 мг/кг. Аналогичная закономерность наблюдается и при переувлажнении на других исследуемых разновидностях почв.

Объяснение такого парадоксального явления мы нашли в работе А.Ю. Кудяровой [11], где отмечено, что при увеличении соединения ортофосфатных ионов в почвенном растворе возрастает способность их к образованию устойчивых комплексов, особенно с активными металлами. Можно предположить, что превышение соответствующего порога концентрации ортофосфорной кислоты (H₃PO₄) приводит к ее трансформации в полифосфорную.

Подводя итог, можно утверждать, что в условиях переувлажнения наблюдается ухудшение фосфатного состояния почв. Это происходит за счет накопления значительного количества закисного железа, которое аккумулирует фосфатные ионы и может образовывать труднорастворимые железофосфатные соединения.

ВЫВОДЫ

Переувлажнение почвы приводит к изменению окислительно-восстановительного равновесия в сторону развития восстановительных процессов. В этих условиях, из-за мобилизации реакционно активных закисных форм железа происходит ухудшение фосфатного состояния почвы, за счет фиксации фосфатных ионов в недоступные для растений формы. Вместе с этим, при контрастных изменениях окислительно-восстановительных условий возможна их аккумуляция в конкреционные новообразования. Именно поэтому, среди мер по оптимизации фосфатного состояния почв гидроморфного ряда необходимо уделять особое внимание регулированию их водно-воздушного режима, что достигается глубоким мелиоративным рыхлением, закладкой гончарных дрен, гребнево-грядовой технологией, фитомелиорацией, технологией локальной мелиорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трускавецький, Р.С.* Мобілізація фосфору фосфоритів під впливом технології локального окультурення ґрунту / Р.С. Трускавецький, Ю.Л. Цапко, Н.Ф. Чешко // *Агрохімія і ґрунтознавство*. – 2002. – Вип. 63. – С. 67–72.
2. К вопросу оптимизации фосфатного режима дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв / Н.А. Кирпичников [и др.] // *Агрохимия*. – 1993. – № 8. – С. 12–20.
3. *Кобзаренко, В.И.* Известкование и мобилизация фосфатов дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности / В.И. Кобзаренко // *Агрохимия*. – 1999. – № 6. – С. 5–15.
4. *Адрианов, С.Н.* Изменение содержания подвижных фосфатов и степени их подвижности в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от уровня применения минеральных удобрений, навоза и известкования / С.Н. Адрианов // *Агрохимия*. – 2000. – № 10. – С. 5–14.
5. *Витковская, С.Е.* Динамика кислотности почвы и содержания подвижных форм кальция, калия и фосфора при использовании компоста из твердых бытовых отходов / С.Е. Витковская, В.Ф. Дричко // *Почвоведение*. – 2004. – № 5. – С. 596–603.
6. Природоохоронне та ефективно використання осушуваних органогенних ґрунтів гумідної зони: методичні рекомендації / І.Т. Слюсар [та ін.]. – Київ, 2014. – 79 с.
7. *McLaughlin, M.H.* Phosphorus cycling in wheat-pasture rotation. 1. The source of phosphorus taken up by wheat / M.H. McLaughlin, A.M. Alston, J.K. Martin // *Aust. J. Soil Res.* – 1988. – № 26. – P. 323–331.
8. *Зайдельман, Ф.Р.* Почвы полесий – генезис, гидрология, мелиорация и использование / Ф.Р. Зайдельман // *Почвоведение*. – 2001. – № 8. – С. 981–991.
9. *Зайдельман, Ф.Р.* Морфоглеогенез, его визуальная и аналитическая диагностика / Ф.Р. Зайдельман // *Почвоведение*. – 2004. – № 4. – С. 389–398.
10. *Фокин, А.Д.* Исследование миграции фосфора в подзолистой почве / А.Д. Фокин, А.В. Аргунова // *Почвоведение*. – 1974. – № 4. – С. 66–79.
11. *Кудеярова, А.Ю.* Педогеохимия орто- и полифосфатов в условиях применения удобрений / А.Ю. Кудеярова. – М.: Наука, 1993. – 240 с.

**EFFECT OF OXIDATIVE-REDUCTION CONDITIONS
ON THE PHOSPHORUS DYNAMICS IN SOILS OF DIFFERENT GENESIS
DEPENDING ON THE LEVEL OF MOISTURE**

Yu.L. Tsapko, V.V. Zubkovskaya, A.I. Ogorodnyaya

Summary

The results of study of the effect of oxidation-reduction conditions on the behavior of phosphorus in acidic soils of different genesis depending on the level of moistening are presented. It has been shown that excessive moisture of the soil leads to a sharp change in the oxidation-reduction equilibrium towards the development of regenerative processes. Studies confirmed that under conditions of waterlogging, a sharp increase in the mobile (ferrous) forms of iron occurs in all variants of the experiment. Thus, it can be argued that the increase in ferrous forms of iron is an important diagnostic sign of the intensity of development of regenerative processes in the soil environment. The mobilization of reactive ferrous forms leads to a deterioration of the phosphate state of the soil, due to the fixation of phosphate ions in forms inaccessible to plants. Together with this, with contrasting changes in oxidation-reduction conditions, it is possible to accumulate them into nodules.

Поступила 11.04.17